Journal of Agricultural Machinery

Homepage: https://jame.um.ac.ir

Research Article
Vol. 13, No. 3, 2023, p. 285-307

Technical and Economic Feasibility of Using Solar Energy to Provide Heat Load to a Poultry House

M. Jalali[1], A. Banakar[2*], B. Farzaneh[3], M. Montazeri[4]

1- PhD Student, Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Eghlid Branch, Islamic Azad University, Eghlid, Iran
2- Associate Professor, Biosystems Engineering Department, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
3- Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Eghlid Branch, Islamic Azad University, Eghlid, Iran
4- PhD Graduated, Biosystems Engineering Department, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
(*- Corresponding Author Email: ah_banakar@modares.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/jam.2022.75172.1090

Received: 07 February 2022 Revised: 11 April 2022 Accepted: 20 April 2022 Available Online: 20 April 2022	**How to cite this article:** Jalali, M., Banakar, A., Farzaneh, B., & Montazeri, M. (2023). Technical and Economic Feasibility of Using Solar Energy to Provide Heat Load to a Poultry House. *Journal of Agricultural Machinery*, *13*(3), 285-307. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jam.2022.75172.1090

Introduction

In the poultry industry, reducing energy consumption is essential for reducing costs. Energy requirements in the poultry industry include heating, cooling, lighting, and power line energy. Identifying factors that increase energy usage is crucial, and providing appropriate solutions to reduce costs and energy consumption is inevitable. One of the major and expensive factors in the poultry industry is the use of fossil fuels, which also causes pollution. Energy costs directly impact the cost of production and increase the per capita cost of production in the meat and egg sectors. In Iran, poultry farms are among the most widely used energy consumers, especially for heating breeding halls, making them a significant subset of the agricultural sector.

Materials and Methods

The problem under study is the thermal simulation of a meat poultry farm located in Ardestan city, Isfahan province. Ardestan city is situated in a desert region in the north of Isfahan province, at a latitude of 33 degrees and 23 minutes north, and a longitude of 52 degrees and 22 minutes east. The dimensions of the poultry hall floor are 5 meters by 8 meters, and it has a capacity of 300 poultry pieces. There are two inlet air vents (windows), each with dimensions of 1.90 by 1.6 meters. The roof has an average height of 2.5 meters and is sloping, made from a combination of plastic carton, fiberglass, and sheet metal.

To reduce energy consumption in this poultry farm, a solar heating system is designed and studied in this research. The farm is one of the functions of Isfahan province, with dimensions of 8 meters in length and 5 meters in width. The simulation is performed using TRNSYS software.

Results and Discussion

The results demonstrate that a collector surface area of 26 m^2 is necessary to reach the technically optimal point, where the sun's maximum production is achieved with no energy dissipation. Furthermore, the findings indicate that a balance of 16 m^2 is required to align the solar system with the auxiliary system.

Conclusion

By installing 2 square meters of solar collectors, 5.2% of the total energy demand can be met with solar

energy. To fully meet the energy demand using solar energy, a collector area of 30 square meters is required. As the solar fraction increases, the system's ability to extract solar energy also increases. The maximum production of solar energy without any wastage is achievable with a collector area of 26 square meters. Moreover, to maintain a balance between the use of solar energy and the auxiliary system, a collector area of 16 square meters is needed.

Keywords: Energy, Numerical modeling, Poultry, Solar collector

نشریه ماشین‌های کشاورزی
https://jame.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۱۳، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۲، ص ۳۰۷-۲۸۵

امکان‌سنجی فنی و اقتصادی استفاده از انرژی خورشیدی به‌منظور تامین بار حرارتی یک سالن مرغداری

منصور جلالی[۱]، احمد بناکار[۲*]، بهفر فرزانه[۳]، مهدی منتظری[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۱۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۳۱

چکیده

در این مطالعه، به طراحی یک سیستم حرارتی خورشیدی با هدف کاهش مصرف انرژی در یک مرغداری پرداخته شد. مرغداری مورد مطالعه دارای ۸ متر طول، ۵ متر عرض و ۲/۵ متر ارتفاع است. در این راستا جمع‌کننده‌های حرارتی خورشیدی مختلف مورد بررسی قرار گرفت و بهترین مساحت سطح جمع‌کننده خورشیدی برای دستیابی به بیشترین بهره از انرژی خورشیدی پیشنهاد شد. در این مطالعه جمع‌کننده خورشیدی از نوع صفحه تخت (FPC) است. علاوه بر این، برای تامین ۵۰ درصد انرژی از خورشید (و مابقی از سیستم ترکیبی) سطح مورد نیاز برای جمع‌کننده پیشنهاد می‌شود. شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار TRNSYS انجام شد. نتایج نشان داد که برای دریافت بیشترین میزان انرژی خورشیدی (کسر خورشیدی حداکثر)، سطح جمع‌کننده‌ای معادل با ۳۰ مترمربع مورد نیاز است. اما زمانی‌که دیدگاه اقتصادی مد نظر قرار گیرد، سطح جمع‌کننده‌ای معادل با ۲۶ مترمربع توصیه می‌شود. علاوه بر این نتایج نشان داد که برای برقراری تعادل بین سیستم خورشیدی و سیستم کمکی، نیاز به سطح جمع‌کننده‌ای معادل ۱۶ مترمربع است. با نصب ۲ مترمربع جمع‌کننده خورشیدی، می‌توان ۵/۲ درصد انرژی کل را به‌وسیله خورشید تامین کرد. همچنین با افزایش کسر خورشیدی، توانایی سیستم در استحصال از انرژی خورشیدی بیشتر می‌شود.

واژه‌های کلیدی: انرژی، جمع‌کننده خورشیدی، طیور، مدل‌سازی عددی

مقدمه

انرژی خورشیدی یکی از منابع تامین انرژی رایگان، پاک و عاری از اثرات مخرب زیست‌محیطی است که از دیرباز به روش‌های گوناگون مورد استفاده بشر قرار گرفته است. از کل انرژی منتشرشده توسط خورشید، تنها در حدود ۴۷ درصد آن به سطح زمین می‌رسد. این بدان معنی است که زمین در هر ساعت، انرژی در حدود ۶۰ میلیون بی‌تی‌یو دریافت می‌کند، یعنی انرژی ناشی از سه روز تابش خورشید به زمین برابر با تمام انرژی‌های ناشی از احتراق کل سوخت‌های فسیلی است. بنابراین، با به‌کارگیری جمع‌کننده‌های خورشیدی می‌توان تا حدودی از این منبع انرژی استفاده کرد و تا حد بسیار زیادی در مصرف سوخت‌های فسیلی صرفه‌جویی کرد (Herrando, Pantaleo, Wang, & Markides, 2019). صنعت طیور یکی از صنایع پر مصرف انرژی است که مقادیر زیادی سوخت را مصرف می‌کند، خصوصاً برای بخش جوجه گوشتی که به‌منظور حفظ دمای مورد نیاز برای پرورش جوجه‌ها، به میزان زیادی برای سیستم‌های گرمایشی خود، سوخت دیزل، بنزین یا گاز مصرف می‌کند. دمای مورد نیاز خانه پرندگان گوشتی بسته به سن پرندگان از ۲۲ تا ۳۲ درجه سلسیوس متغیر است. با توجه به افزایش هزینه‌های انرژی و تأثیر منفی آن بر روی صنایع پرمصرف انرژی مانند مرغداری، یافتن یک منبع تجدیدپذیر انرژی برای استفاده به‌عنوان جایگزینی برای سیستم‌های پرورش طیور مبتنی بر سوخت فسیلی بسیار مهم است. هدف آن است که علاوه بر حفظ سلامت پرندگان، شرایطی برای دستیابی به سرعت رشد یکنواخت آن‌ها و حداکثر کردن تراکم گله پرندگان، حاصل شود. سیستم‌های گرمایش تکمیلی نقش

۱- دانشجوی دکتری، گروه مکانیک بیوسیستم، واحد اقلید، دانشگاه آزاد اسلامی، اقلید، ایران
۲- دانشیار گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
۳- استادیار گروه مکانیک بیوسیستم، واحد اقلید، دانشگاه آزاد اسلامی، اقلید، ایران
۴- دانش‌آموخته دکتری مکانیک بیوسیستم، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: ah_banakar@modares.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/jam.2022.75172.1090

مهمی‌در مدیریت شرایط محیطی به‌ویژه در مرحله رشد دارند (Donald, 2009). تولید برق با استفاده از سامانه‌های فتوولتائیک (PV) از مهم‌ترین راه‌های استفاده از انرژی خورشیدی در جهان است. فناوری فتوولتائیک به‌تدریج به دلیل پیشرفت تکنولوژی و کاهش هزینه در سال‌های اخیر به بخش کشاورزی وارد شده است. استفاده از فناوری مذکور در کشاورزی می‌تواند نه تنها صرفه‌جویی در انرژی و حفاظت از محیط زیست را تحقق بخشد، بلکه تحولی ایجاد می‌نماید که می‌تواند کشاورزی سنتی را به کشاورزی مدرن تبدیل کند (Francis, 2002). امروزه با توجه به بحران انرژی جهانی و محیط زیست، تولید برق خورشیدی دارای مزایای چشمگیر در پایداری منابع و محیط زیست است، به‌طوری‌که کشاورزی مدرن به شدت وابسته به تامین انرژی از سوخت‌هایی غیر از سوخت‌های فسیلی است. کشاورزی فتوولتائیک یعنی تولید انرژی خورشیدی برای تامین برق پایدار برای فعالیت‌های مربوط به تولید محصولات کشاورزی مانند کاشت، پرورش دام و طیور، آبیاری، گلخانه و غیره (Xue, 2017). در مناطق روستایی دورافتاده، نیروگاه برق خورشیدی به دلیل دسترسی ناچیز به کمبود برق یا نبود برق به‌عنوان یک راه‌حل مناسب مطرح است (Shyu, 2013). بسیاری از توابع در مرغداری‌های صنعتی توسط سامانه‌های اتوماتیک کنترل می‌شوند که پارامترهای آن توسط تولیدکننده تعیین می‌شود. همچنین تأمین نور مناسب نقش مهمی در رشد و تغذیه پرندگان دارد. امنیت تامین برق به جهت فراهم کردن نور (که بر رشد طیور اثر می‌گذارد)، سیستم‌های خنک‌کننده برای حفظ دمای پایدار (در جهت افزایش بهره‌وری) و تهویه (برای کاهش گرد و غبار و بیماری‌ها) ضروری است (Byrne, Glover, Hegedus, & VanWicklen, 2005). پرورش‌دهندگان نیاز به دانستن میزان مصرف انرژی سالن مرغداری خود دارند و با دقت، میزان مصرف انرژی را در مورد تهویه، گرمایش و سرمایش پیش‌بینی کرده‌اند که برای برخی از سامانه‌های پرورش نمایانگر عمده مصرف انرژی است (Costantino, Fabrizio, Biglia, Cornale, & Battaglini, 2016). در کشور ایران، مرغداری‌ها به‌عنوان یکی از زیرمجموعه‌های بخش کشاورزی از پرمصرف‌ترین بخش‌های انرژی هستند که قسمت عمده مصرف آن‌ها مربوط به گرمایش سالن‌های پرورش است (Shahini, Saadat fard, & Taki, 2018). در کنار این واقعیت، تغییر شرایط محیطی مانند دما، تاثیر به‌سزایی در میزان تولید و تلفات مرغداری می‌گذارد. از این حیث بهینه‌سازی مصرف انرژی و روش اعمال آن در این صنعت اهمیت بسیار بالایی دارد (Koochakzadeh & Tajri, 2014). وجود بیش از ۱۵۰۰۰ واحد مرغداری پرورش‌دهنده فعال مرغ گوشتی، بیش از ۳۵۰ واحد مرغ مادر، بیش از ۱۵۰۰ واحد مرغ تخم‌گذار و مصرف سرانه ۱/۹۵ لیتر نفت جهت تولید هر قطعه مرغ، اهمیت کنترل و بهینه‌سازی مصرف انرژی را در این بخش بیش از پیش روشن می‌کند (Goodarzi, Kazemi, Kashanizadeh, Bogri, & Yaghoubi, 2016). شبیه‌سازی‌های حرارتی می‌تواند مشکلات احتمالی در سامانه‌های مرغداری را به‌طور دقیق پیش‌بینی کرده و منجر به استراتژی‌های مناسب برای صرفه‌جویی در انرژی شود (Wang, Li, Liang, & Zheng, 2020). در یک پژوهش عددی، یک استراتژی ترکیبی برای پنل‌های فتوولتائیک به‌منظور افزایش انتقال حرارت پیشنهاد شد. در آن مطالعه نشان داده شد که با استفاده از یک جمع‌کننده گرمایی جدید و مواد تغییرفازدهنده می‌توان گرمایش فضا یا گرمایش آب گرم را به‌صورت سریع تامین کرد. در آن مطالعه، بهترین عملکرد سیستم در حالت زاویه پنل ۳۵ درجه و زاویه باد ۴۵ درجه گزارش شد (Jurčević, Nižetić, Marinić-Kragić, & Čoko, 2021). در یک مطالعه، یک سیستم حرارتی فتوولتائیک پیشنهاد شد که فناوری فتوکاتالیستی و سلول‌های فتوولتائیک آلی را ترکیب می‌کرد و می‌توانست برای تامین برق و حرارت یک فضا مورد استفاده قرار گیرد. در آن مطالعه یک مدل انتقال گرما و جرم برای سیستم جدید ایجاد شد و عملکرد حرارتی و الکتریکی سیستم تحت شرایط کاری مختلف مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش تابش خورشیدی و دمای محیط، بازده الکتریکی و حرارتی سیستم افزایش می‌یابد. همچنین نشان داده شد هرچه دمای جریان آب ورودی بیشتر باشد، بازده حرارتی سیستم کمتر است، اما راندمان الکتریکی سیستم بالاتر می‌رود (Liu, Jin, Li, Zhao, & Badiei, 2022). در مطالعه دیگر، عملکرد حرارتی یک سیستم فتوولتائیک با کانال‌های موازی مورد بررسی قرار گرفت. در تحقیق مذکور، دمای ماژول‌های فتوولتائیک کم و به‌طور مساوی توزیع شد و نتیجه گرفته شد که با تعداد کانال‌های کمتر از ۱۰ عدد، افت فشار کانال‌های خنک‌کننده، حداقل است. در آن تحقیق نشان داده شد که با افزایش نسبت قطر بین کانال اصلی و کانال‌های فرعی، دمای ماژول‌های فتوولتائیک کاهش می‌یابد (Shen *et al.*, 2021). در مطالعه‌ای دیگر، عملکرد یک سیستم ترکیبی فتوولتائیک از منظر قانون اول و دوم ترمودینامیک مورد بررسی قرار گرفت. با مطالعه‌ای که در یکی از شهرهای چین صورت گرفت، مشخص شد که از نظر قانون اول ترمودینامیک، وقتی تابش خورشیدی نسبتاً بالا باشد، اقتصاد انرژی بدتر می‌شود. در آن تحقیق نشان داده شد که اکسرژی اقتصادی و اکسرژی خروجی با یکدیگر رابطه عکس دارند (Li & Jing, 2017). در یک مطالعه، به بررسی تاثیر استفاده از یک سیستم خورشیدی و یک سیستم کنترل اقلیمی به‌منظور افزایش بازده انرژی یک مرغداری پرداخته شد (Gad, El-Shazly, Wasfy, & Awny, 2020). در این مطالعه، عملکرد مرغداری از نظر رطوبت نسبی، غلظت آمونیاک، تولید طیور، نرخ تبدیل خوراک، توان مورد نیاز و هزینه تولید ارزیابی

شد. بررسی‌ها نشان داد که بازده سیستم گرمایش خورشیدی و سلول‌های فتوولتائیک به‌ترتیب حدود ۷۱/۶ درصد و ۱۲/۵ درصد بودند. علاوه بر این، نتایج نشان داد که در شرایط بهینه برای افزایش تولید طیور، هزینه تولید معادل ۱/۱۲ دلار آمریکا بر کیلوگرم است. در یک تحقیق، تحلیل کیفی عوامل موثر بر امکان‌سنجی استفاده از فناوری خورشیدی در صنعت طیور انجام شد (Mohammadi, Mirdamadi, Farajollah Hosseini, & Lashgarara, 2021). داده‌ها با انجام مصاحبه‌های فنی ساختاریافته با ۱۳ نفر از کارشناسان کشاورزی متخصص جمع‌آوری شد. تحلیل داده‌ها را با استفاده از نرم‌افزار MAX در سه مرحله کدگذاری باز، کدگذاری محوری و کدگذاری انتخابی برای شناسایی ابعاد، دسته‌های اصلی، زیرمجموعه‌ها و مفاهیم مرتبط با کدها انجام دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که استفاده از انرژی خورشیدی، امن‌تر و دارای چالش بسیار کمتر نسبت به سایر منابع انرژی است. در یک مطالعه یک سیستم گرمایشی جدید و تجدیدپذیر برای یک مرغداری واقع در انگلیس معرفی شد (Cui, Theo, Gurler, Su, & Saffa, 2021). هدف آن مطالعه بهبود بازده انرژی و کاهش گازهای مضر و کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی بود. رویکرد مطالعه آن‌ها، استفاده از روش‌های تجربی و عددی به‌طور همزمان بود. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که خروجی الکتریکی و حرارتی، سالانه به‌ترتیب ۱۱۸۶۷ کیلووات ساعت و ۳۰۲۴۵ کیلووات ساعت است که نه تنها می‌تواند نیاز برق مرغداری را تامین کند، بلکه می‌تواند ۴۳/۵ درصد نیاز برق کمپرسور پمپ حرارتی را نیز تامین کند (Cui *et al.*, 2021).

با توجه به مرور ادبیات می‌توان دریافت که بیشتر مطالعات بر روی راه‌های افزایش انتقال حرارت، افزایش بازده انرژی و هندسه سیستم است. با این وجود به نظر می‌رسد که مطالعه در مورد طراحی یک سیستم گرمایش ترکیبی (برای مرغداری) با رویکرد اقتصادی تاکنون مورد بررسی قرار نگرفته است. در این پژوهش از یک طرح ترکیبی (متشکل از یک سیستم کمکی و یک سیستم حرارتی خورشیدی) به‌منظور تامین حرارت یک سالن مرغداری با هدف کاهش هزینه‌ها و حفظ سلامت پرندگان استفاده می‌شود. با توجه به کاهش هزینه‌ها و بررسی میزان حرارت مورد نیاز، سامانه حرارتی خورشیدی با سطح مقطع‌های متفاوت از نظر میزان انرژی تولیدشده با یکدیگر مقایسه می‌شوند و هزینه سرمایه‌گذاری و درآمد سالانه در هر بخش با یکدیگر مورد مقایسه قرار می‌گیرند و در انتها، حالت بهینه (با هدف تامین حرارت مورد نیاز و کاهش هزینه‌ها) مشخص می‌شود.

مواد و روش‌ها

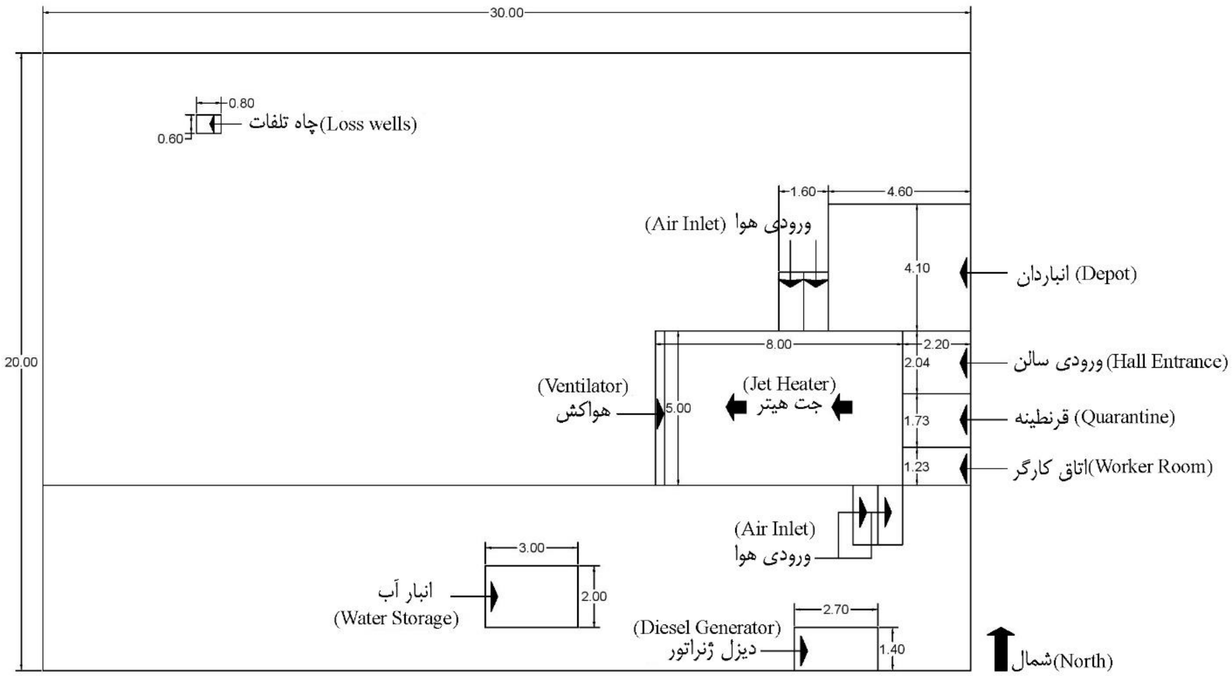
بیان مسأله

مسأله مورد مطالعه، شبیه‌سازی سامانه حرارتی خورشیدی تامین حرارت سالن یک مرغداری گوشتی در شهرستان اردستان از توابع استان اصفهان است. شهرستان اردستان واقع در شمال استان اصفهان در یک منطقه کویری با عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۲۳ دقیقه و ۴۷ ثانیه شمالی و طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۲۲ دقیقه و ۲۱ ثانیه شرقی واقع شده است. ابعاد کف سالن مرغداری ۵ متر در ۸ متر با ۲/۵ متر ارتفاع و با ظرفیت ۳۰۰ قطعه است. در شکل ۱، شماتیک سالن مرغداری نشان داده شده است. ورودی‌های هوای ورودی (پنجره) ۲ عدد به ابعاد ۱/۹۰ در ۱/۶ متر می‌باشد. میانگین ارتفاع سقف ۲/۵ متر می‌باشد و سقف به‌صورت شیروانی و به‌صورت ترکیبی از کارتن پلاست و پشم شیشه و ورق فلزی است. جدول ۱ مشخصات قسمت‌های مختلف مرغداری مورد بررسی را نمایش می‌دهد. سیستم گرمایشی موجود در مرغداری از نوع جت هیتر است که از شرکت نیرو تهویه دماوند تهیه شده است و الکتروموتور آن ساخت کشور ایران (شرکت الکتروژن) است که یک دستگاه از آن در سالن وجود دارد و مشخصات آن مطابق جدول ۲ (طبق مشخصات پلاک جت هیتر موجود) است. علاوه بر این مشخصات جمع‌کننده‌ها در جدول ۳ ارائه شده است.

فرضیات و فیزیک مرغداری مورد مطالعه

موقعیت مکانی مرغداری، شرقی- غربی است (به علت وزش باد منطقه) و فن‌ها (هواکش‌های سالن) در جهت غربی قرار دارند. پنجره از نوع فلزی معمولی تک‌جداره است و جنس درب، فلزی است. ضخامت دیوارهای مرغداری ۲۰ سانتی‌متر است و از سیمان سیاه در دو طرف اندود شده است. همچنین کف مرغداری، سیمان‌کاری شده است. در این تحقیق فرض بر آن است که شروع کار مرغداری، ساعت اول ماه ژانویه است. بدین ترتیب هر ۵۶ روز یک‌بار، یک سیکل مرغداری صورت می‌گیرد. با توجه به این‌که زمان بین هر سیکل ۱۵ الی ۲۰ روز است، لذا در این تحقیق فاصله بین دو سیکل، ۱۷ روز در نظر گرفته می‌شود. با توجه به ارائه اطلاعات کامل در خصوص پراکنش دمای مطلوب در سالن مرغداری نسبت به سن جوجه‌ها و همچنین فعال بودن مرغداری، پروفایل شکل ۲ که به‌صورت ساعت به ساعت در طول سال نسبت به سن جوجه و فعال بودن سالن می‌باشد، ارائه شده است. همان‌گونه که در شکل ۲ مشخص است، دمای مطلوب برای نگهداری جوجه‌ها در سه روز اول برابر با ۳۲/۲ درجه سلسیوس است. این دما به‌صورت پله‌ای در طول روزهای بهره‌برداری کاهش می‌یابد تا در روز ۲۱ام به دمای ثابت ۲۱/۱ درجه سلسیوس می‌رسد. در فاصله زمانی بین دو بهره‌برداری از آن‌جایی که دمای داخل سالن کنترل نمی‌شود و سیستم گرمایش خاموش می‌شود و به‌دلیل ضدعفونی محیط داخل، درب‌های سالن باز می‌شود، لذا دمای داخل سالن با دمای بیرون برابر فرض شده است.

ویژگی‌های آب و هوایی محل در جدول ۴ نشان داده شده است. شرایط اقلیمی شهرستان اردستان با استفاده از نرم‌افزار Metonorm به‌صورت سالانه شبیه‌سازی شده است. این شبیه‌سازی براساس فایل TMY2 به‌صورت یک فایل خارجی به نرم‌افزار TRNSYS وارد شده است. با توجه به این‌که نرم‌افزار TRNSYS قابلیت شبیه‌سازی کلیه فرآیندها را به‌صورت ساعت به ساعت دارد، لذا فایل مربوط به شرایط آب و هوایی به‌صورت ساعتی شبیه‌سازی گردید. لازم به ذکر است که زمان شروع تمامی نمودارهایی که در ادامه می‌آیند از اول ژانویه می‌باشد.



شکل ۱- شماتیک سالن مرغداری (واحد اعداد نشان داده‌شده در شکل متر است)

Fig.1. Schematic of the poultry hall (the unit of numbers shown in the figure is the meter)

جدول ۱ – مشخصات قسمت‌های مختلف مرغداری مورد بررسی

Table 1- Specifications of different parts of poultry

مشخصه Property	طول Length (m)	عرض Width (m)	ارتفاع Height (m)	سطح Surface (m^2)	تعداد Number	سطح کل Area (m^2)
دیوارها Walls	9	5	2.5	65	-	65
پنجره‌ها Windows	1.9	1.6	-	3.04	2	6.08
درب‌ها Doors	2	2	-	4	1	4

اطلاعات کلی شرایط آب و هوایی که در مدل‌سازی مورد نیاز می‌باشند، عبارتند از:

– دمای هوا به‌منظور برآورد بار حرارتی ساختمان، شبیه‌سازی سیستم حرارتی خورشیدی و شبیه‌سازی سیستم فتوولتائیک.

– رطوبت نسبی به‌منظور برآورد میزان رطوبت داخل فضا.

– سرعت و جهت باد به‌عنوان دو عامل مهم در تهویه هوا و همچنین محاسبات سیستم فتوولتائیک.

– شدت تابش خورشیدی کل در سطح افق به‌منظور محاسبات بار حرارتی، آبگرمکن خورشیدی و سیستم فتوولتائیک.

– شدت تابش پراکنده در سطح افق به‌منظور محاسبات بار حرارتی، آبگرمکن خورشیدی و سیستم فتوولتائیک.

– زاویه تابش خورشیدی افق به‌منظور محاسبات آبگرمکن

خورشیدی و سیستم فتوولتائیک.

– زاویه سمت خورشیدی به‌منظور محاسبات آبگرمکن خورشیدی و سیستم فتوولتائیک.

– زاویه ارتفاع خورشیدی به‌منظور محاسبات آبگرمکن خورشیدی و سیستم فتوولتائیک.

ویژگی آب و هوای محل در تمامی ماه‌های سال در پیوست الـف ارائه شده است.

جدول ۲– مشخصه سیستم گرمایشی سالن مرغداری بر اساس پلاک روی دستگاه جت هیتر ساخت ایران (شرکت نیرو تهویه دماوند)

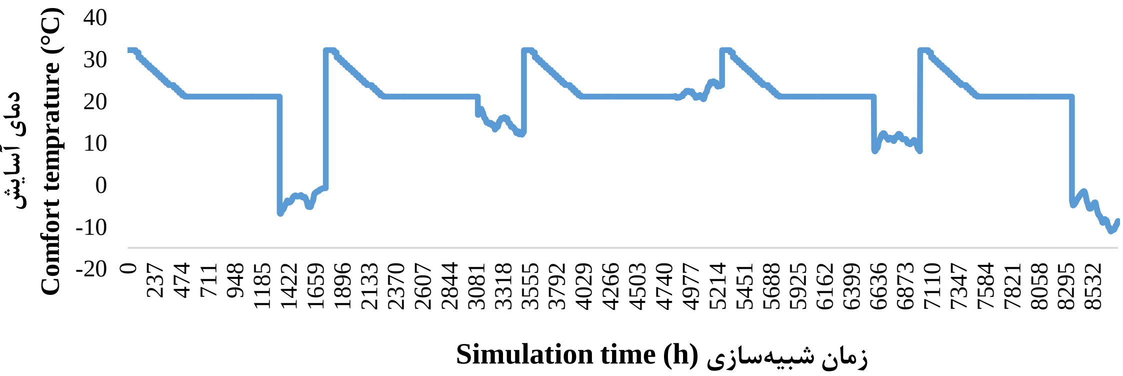
Table 2- Characteristics of poultry hall heating system based on license plate on jet heater made in Iran (Damavand Niroo Tahvieh Co)

مشخصه **Property**	مقدار **Value**
توان حرارتی Thermal power	116.3 kW
بازدهی Efficiency	99%
سوخت مصرفی Fuel	Natural gas
نوع مشعل Torch type	Hybrid
میزان هوادهی The amount of aeration	7000 $m^3.h^{-1}$
حداکثر فضای تحت پوشش Maximum covered space	4000 m^3
قدرت الکتروموتور Electromotor power	550 W
دور الکتروموتور Electromotor speed	1450 R.P.M
جریان Electric current	2.9 A
ضریب توان Power factor	0.97
ولتاژ Voltage	220 V
فرکانس Frequency	50 Hz
فاز Phase	1
عملکرد Duty	S1
کلاس حفاظتی Enclosure	54
ظرفیت حرارتی Heat capacity	100000 kCal
حداکثر مصرف سوخت Maximum fuel consumption	12 $m^3.h^{-1}$
وزن Weight	80-90 kg
استانداردها Standards	ISO 10002-2004, CE, ISO 9001-2008

جدول ۳– مشخصات جمع‌کننده

Table 3- Collector specifications

مشخصه **Property**	مقدار/توضیحات **Value/Description**
نوع جمع‌کننده Type of collector	صفحه لوله‌ای Tube plate
جنس صفحه Plate material	آلومینیوم Aluminum
رنگ پوشش صفحه Cover color of plate	سیاه مات Matte black
ضریب صدور صفحه Emission coefficient of the plate	0.9
ضریب هدایت حرارتی صفحه Thermal conductivity of the plate	211 $W.m^{-1}.K^{-1}$
ابعاد جمع‌کننده Collector dimensions	2×1 m^2 3×2 m^2 3.2×2.5 m^2
ضریب صدور پوشش Emission coefficient of the cover	0.85
ضخامت عایق اطراف Insulation thickness around	0.02 m
ضریب هدایت حرارتی عایق‌ها Thermal conductivity of insulators	0.05 $W.m^{-1}.K^{-1}$
سیال عامل Working fluid	آب Water
جنس باز تابنده‌ها The material of the reflectors	استیل ۳۰۴ Steel 304
شیب قرارگیری جمع‌کننده Slope of the collector	45°



شکل ۲– پراکندگی دمای مطلوب در سالن مرغداری نسبت به سن جوجه‌ها

Fig.2. Distribution of the desired temperature in the poultry house in relation to the age of the chickens

جدول ٤– ویژگی‌های آب و هوا و تابش خورشید در محل براساس داده‌های نرم‌افزار Metronorm

Table 4- Characteristics of climate and solar radiation in the place based on the data of Metronorm software

	دما **Temperature**	رطوبت نسبی **Relative humidity (%)**	سرعت باد **Wind velocity (m.s^{-1})**	زاویه جهت باد **Wind direction angle**
حداقل Minimum	-8.88	9.89	0	7.62
حداکثر Maximum	44.33	98.45	7.9	358.15
	شدت تابش خورشید در سطح افق **Intensity of sunlight on the horizon**	**زاویه افق خورشیدی** **The angle of the solar horizon**	**زاویه ارتفاع خورشیدی** **Solar elevation angle**	**زاویه سمت خورشیدی** **Solar angle**
حداقل Minimum	378.15	10.06	59.72	10.03
حداکثر Maximum	639.3	89.82	116.047	98.98

مدل‌سازی مسأله

معادلات مدل جمع‌کننده خورشیدی صفحه تخت

انرژی جذب‌شده در جمع‌کننده‌هایی که به‌صورت سری به یکدیگر متصل شده‌اند از رابطه (۱) محاسبه می‌شود (Hottel & Woertz, 1942).

$$\dot{Q}_U = \frac{A}{N_S}\sum_{J=1}^{N_S} F_{R.j}\,(I_T-(\tau\alpha)-U_{L.j}(T_{i.j}-T_a)) \quad (۱)$$

که در آن $F_{R,j}$ از رابطه (۲) محاسبه می‌شود (Zelzouli, Guizani, Sebai, & Kerkeni, 2012).

$$F_{R.j} = \frac{N_S\dot{m}_c C_{pc}}{AU_{L.j}}\left(1-\exp\left(\frac{F'^{U_{L.j}}A}{N_S\dot{m}_c C_{pc}}\right)\right) \quad (۲)$$

مقدار F' ضریب بازدهی جمع‌کننده[1] از رابطه (۳) محاسبه می‌شود (Zelzouli *et al.* 2012).

$$F' = \frac{1/U_L}{W[\frac{1}{U_L(D+W-D)F)}+\frac{1}{C_b}+\frac{1}{\pi D_i h_{fi}}]} \quad (۳)$$

ضریب عبور و جذب[2] کل نیز از رابطه (۴) به‌دست می‌آید (Duffie & Beckman, 1991).

$$(\tau\alpha) = \frac{I_{bT}(\tau\alpha)_b+I_d(\frac{1+\cos\beta}{2})(\tau\alpha)_s}{I_T}+\frac{\rho I(\frac{1-\cos\beta}{2})(\tau\alpha)_g}{I_T} \quad (۴)$$

دمای خروجی از هر مدول جمع‌کننده خورشیدی نیز از رابطه (۵) محاسبه می‌شود (Zelzouli *et al.*, 2012).

$$T_{o.j} = \frac{AF_{R.j}(I_t(\tau\alpha)-U_{L.j}(T_{i.j}-T_a))}{N_S\dot{m}_c C_{PC}} \quad (۵)$$

در صورتی‌که هیچ جریانی از جمع‌کننده عبور نکند، دمای راکد جمع‌کننده از رابطه (۶) ارزیابی می‌شود (Zelzouli *et al.*, 2012).

$$T_P = \frac{I_T(\tau\alpha)}{U_L} + T_a \quad (۶)$$

ضریب تلفات انرژی کل جمع‌کننده از رابطه (۷) محاسبه می‌شود (Klein *et al.*, 2007).

$$U_{L.j} = \frac{3.6}{\frac{N_G}{\frac{C}{T_{P.j}}[\frac{T_{av.j}-T_a}{N_G+f}]^{0.33}+\frac{1}{h_w}}} + \frac{3.6\sigma(T_{av.j}^2+T_a^2)(T_{av.j}+T_a)}{\frac{1}{\varepsilon_P+0.5N_G(1-\varepsilon_P)}+\frac{2N_G+f-1}{\varepsilon_g}-N_G} \quad (۷)$$

که،

$$h_w = 5.7+3.8\frac{W}{m^2K}$$
$$f = (1-0.04h_w+0.0005h_w^2)(1+0.091N_G) \quad (۸)$$
$$c = 365.9(I-0.00883\beta+0.0001298\beta^2)$$

نرخ بازده داخلی (IRR)، به نرخ تنزیلی گفته می‌شود که ارزش فعلی خالص (NPV) را برای تمامی جریان‌های نقدی یک پروژه، برابر صفر می‌کند که برای محاسبه آن از فرمول NPV استفاده می‌گردد (Kim, 2018).

$$NPV = \sum_{t=1}^{t}\frac{C_t}{(1+R)^t}-C_0 \quad (۹)$$

به‌منظور محاسبه IRR لازم است NPV را با صفر برابر قرار داده و نرخ تنزیل آن را به‌دست آورد. به عبارت دیگر می‌توان نوشت (Kim, 2018):

$$0 = \sum_{t=1}^{t}\frac{C_t}{(1+IRR)^t}-C_0 \quad (۱۰)$$

کسر خورشیدی (solar fraction) از رابطه (۱۱) محاسبه می‌شود (Flynn & Siren, 2013).

$$solar\ fraction = \frac{E_s}{E_T} \quad (۱۱)$$

که E_T کل انرژی مورد نیاز برابر است با مجموع کل انرژی خورشیدی دریافت شده و انرژی کمکی است. جدول ۵ فرضیات استفاده شده در این تحقیق را نشان می‌دهد.

1- Collector Fin Efficiency Factor

2- $(\tau\alpha)$

جدول ۵- فرضیات حل مسئله سیستم حرارتی خورشیدی

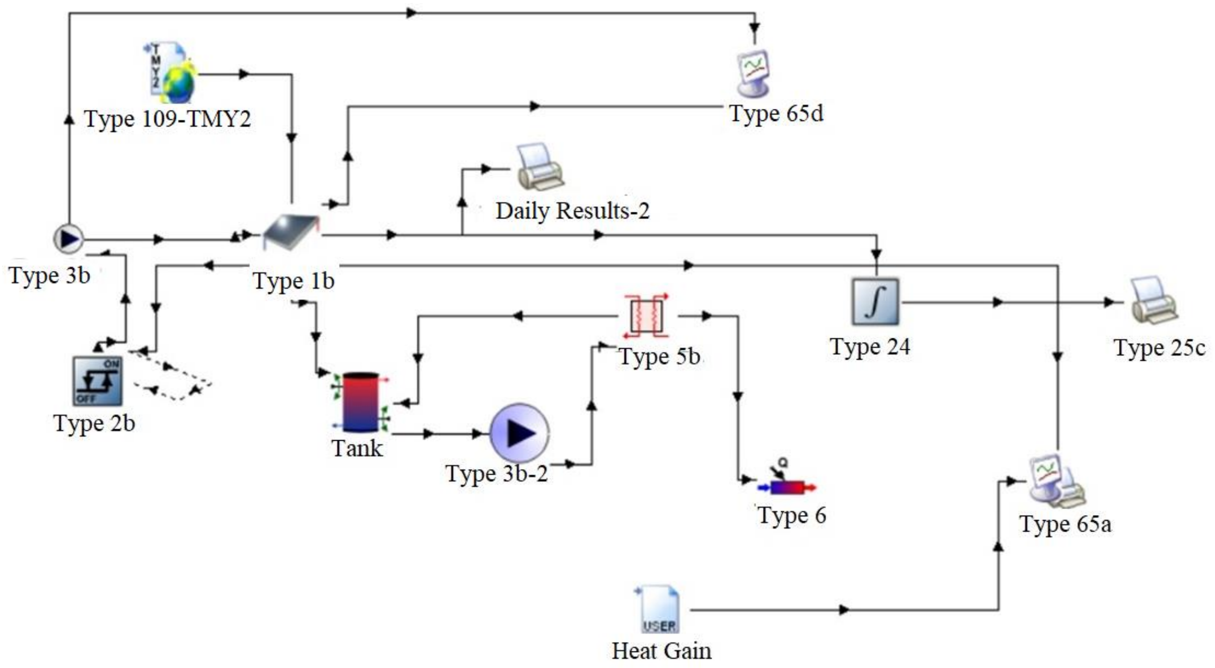
Table 5- Assumptions to solve the solar heating system problem

مشخصه **Property**	مقدار **Value**	واحد **Unit**
نوع مؤلفه Component Type	Type 1b	-
نوع جمع‌کننده Collector Type	Flat Plate Collector	-
مساحت جمع‌کننده Collector area	Variable	m^2
گرمای ویژه سیال Fluid specific heat	4.19	$kJ.kg^{-1}.K^{-1}$
سرعت جریان تست شده Tested flow rate	40	$kg.h^{-1}.m^{-2}$
کارایی رهگیری Intercept efficiency	0.8	-
شیب بهره‌وری Efficiency slope	13	$kJ.h^{-1}.m^{-2}.K^{-1}$
انحنای بازده Efficiency curvature	0.05	$kJ.h^{-1}.m^{-2}.K^{-2}$
حالت نوری ۲ Optical mode 2	2	-
مرتبه IAM۱ 1st-order IAM	0.2	-
مرتبه IAM۲ 2nd-order IAM	0	-
دمای ورودی Inlet temperature	Variable	°C
نرخ جریان ورودی Inlet flow rate	Variable	$kg.h^{-1}$
دمای محیط Ambient temperature	Variable	°C
تابش فرودی Incident radiation	Variable	$kJ.h^{-1}.m^{-2}$
تابش کل افقی Total horizontal radiation	Variable	$kJ.h^{-1}.m^{-2}$
تابش پراکنده افقی Horizontal diffuse radiation	Variable	$kJ.h^{-1}.m^{-2}$
بازتاب زمین Ground reflectance	0.2	-
شیب جمع‌کننده Collector slope	45	degree

بهینه‌سازی و به‌کارگیری از سیستم خورشیدی

به‌منظور بهینه‌سازی سطح مقطع جمع‌کننده خورشیدی از روش بارلی و بالکامب (Barley & Balcomb) استفاده می‌شود (Duffie, Beckman, & Blair, 2020). ابتدا کسر خورشیدی محاسبه و نشان داده می‌شود که چند درصد از انرژی کل توسط انرژی خورشیدی به‌دست آمده است. بدین ترتیب در طول سال به‌صورت ساعت به ساعت انرژی استحصال‌یافته از خورشید محاسبه و سپس مقدار کسر خورشیدی ارزیابی می‌شود (Duffie *et al.*, 2020). در این بخش، به بررسی سطح مقطع جمع‌کننده‌های مختلف خورشیدی پرداخته می‌شود. شکل ۳ فرآیند شبیه‌سازی سیستم حرارتی خورشیدی با استفاده از نرم‌افزار TRNSYS را نمایش می‌دهد. در مدل مذکور،

Type 109 به‌منظور ورودی شرایط آب و هوایی به مدل استفاده شده است. Type 3 نیز سیستم پمپاژ است که یکی به‌منظور سیرکولاسیون بین منبع ذخیره و جمع‌کننده خورشیدی و دیگری برای انتقال آب گرم تولیدی به سمت لوله‌های گرمایش از کف استفاده شده است. Type 5b مبدل حرارتی با جریان ناهمسو است. مبدل حرارتی با ظرفیت حرارتی آشکار صفر به‌عنوان یک وسیله با اثر ثابت مدل می‌شود که مستقل از پیکربندی سیستم عمل می‌کند. دمای ورودی جریان سمت سرد و سمت گرم و همچنین نرخ دبی جریان به‌عنوان ورودی داده می‌شود. لازم به ذکر است که اثرپذیری برای مقدار ثابت تمام ضرایب انتقال حرارت محاسبه می‌گردد. Type 6 گرم‌کن جانبی است. المان گرم‌کن جانبی به‌منظور افزایش دمای جریان سیال با استفاده از یک کنترل‌کننده داخلی، خارجی و یا ترکیبی از هر دو مدل شده است. هر زمانی که ورودی کنترل‌کننده خارجی برابر با یک شود و یا دمای خروجی هیتر کمتر از مقدار تنظیمی باشد که توسط کاربر تعریف شده است، گرم‌کن برای افزودن حرارت به جریان در نرخ طراحی شده توسط کاربر ($Q_{\max}$) (با تعریف مقدار ثابت برای تابع کنترل و مشخص کردن مقدار به اندازه کافی بزرگ برای $Q_{\max}$) وارد عمل خواهد شد. این روند مانند آبگرمکن جانبی خانگی با یک کنترل‌کننده داخلی برای ایجاد دمای خروجی عمل می‌کند. با اعمال یک تابع کنترل با مقدار صفر یا یک از یک ترموستات یا کنترل‌کننده، این عمل مانند یک کوره که حرارت را با نرخ $Q_{\max}$ اضافه می‌کند پیش خواهد رفت. اما حرارت تا جایی افزوده می‌شود که دمای خروجی بیشتر از مقدار تست نشود. منبع ذخیره نیز که Type 4 است به‌منظور ذخیره‌سازی آب استفاده شده است.



شکل ۳– دیاگرام فرآیندی شبیه‌سازی‌شده سیستم حرارتی خورشیدی در نرم‌افزار TRNSYS
Fig.3. Diagram of a process simulated by a solar thermal system in TRNSYS

نتایج و بحث

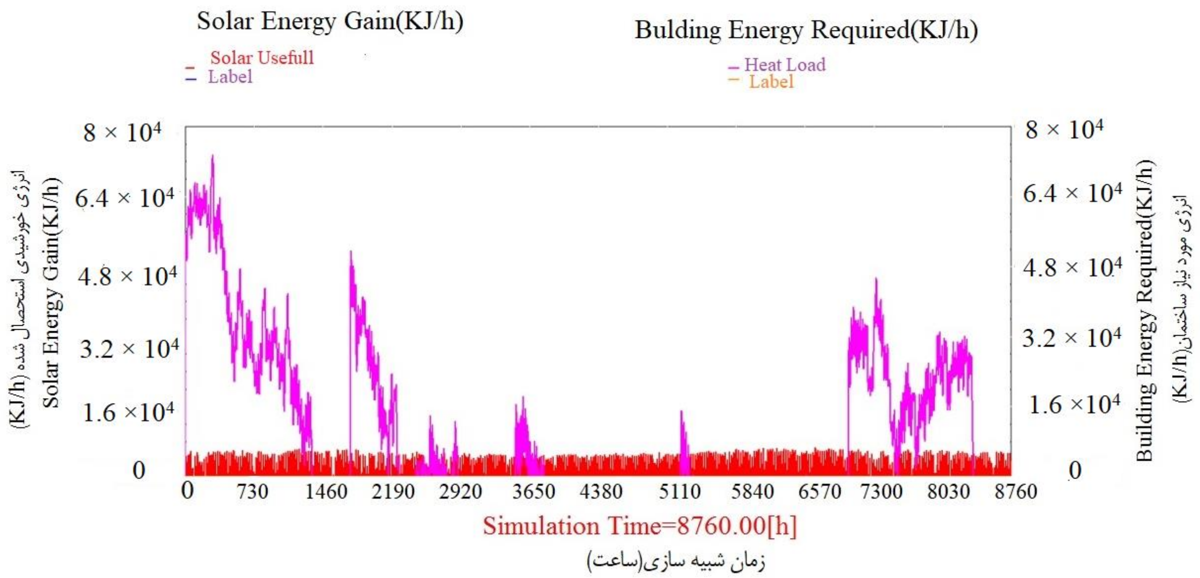
سطح مقطع‌های ۲، ۴ و ۶ مترمربع

شکل‌های ۴، ۵ و ۶ میزان انرژی تولیدشده از خورشید در مقایسه با انرژی مورد نیاز را نمایش می‌دهد. خط بنفش رنگ میزان انرژی مورد نیاز و خط قرمز رنگ انرژی خورشیدی تولیدشده می‌باشد. انرژی جهت گرمایش داخل سالن در مدت ۵۶ روز که مرغداری فعال است مورد نیاز است. زمانی که مرغداری تعطیل است، در حقیقت فاصله بین دو سیکل که بین ۱۶ الی ۱۷ روز است، انرژی مورد نیاز برابر صفر می‌شود و مجدداً بعد از زمان تعطیلی مرغداری، انرژی مورد نیاز افزایش می‌یابد. در زمان تعطیلی، سیستم حرارتی خورشیدی در حال تولید انرژی است که این انرژی تولیدی به مصرف نمی‌رسد و در اصطلاح پرت می‌شود. این مقادیر در محاسبات باید صفر نشان داده شود. داده‌های خروجی این بخش در نرم‌افزار اکسل وارد شده و مقادیر

مربوطه از حاصل مجموع تولید کسر شده است.

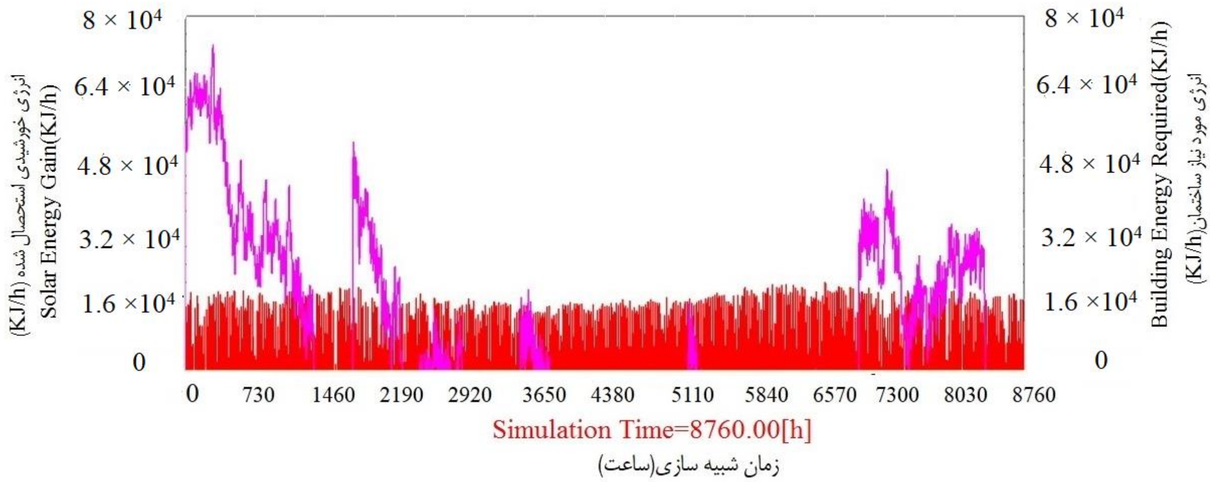
در شکل‌های ۷، ۸ و ۹ مقدار ذخیره‌سازی انرژی خورشیدی در مخزن برای جمع‌کننده به سطح‌های ۲، ۴ و ۶ مترمربع نمایش داده شده است. اگر در طول زمان بهره‌برداری انرژی خورشیدی تولید بیشتر از مصرف داشته باشد، در این مخزن ذخیره می‌شود، یعنی در صورتی‌که تفاضل مقدار حرارت مورد نیاز برای گرمایش کل ساختمان و حرارت تولیدشده توسط انرژی خورشیدی یک عدد منفی باشد، مقدار ذخیره‌شده در مخزن ذخیره برابر منفی آن عدد است.

در شکل‌های ۱۰، ۱۱ و ۱۲ مقدار کسر خورشیدی روزانه در مخزن برای جمع‌کننده به سطح‌های ۲، ۴ و ۶ مترمربع نمایش داده شده است. همان‌گونه که در شکل‌های ۱۰، ۱۱ و ۱۲ مشخص است در برخی مواقع مقدار کسر خورشیدی از ۱۰۰ درصد بیشتر شده است. در این مواقع تولید بیشتر از مصرف بوده و سیستم اقدام به ذخیره‌سازی می‌نماید تا در ساعاتی که انرژی خورشیدی موجود نیست مورد مصرف قرار گیرد. جدول ۶ به ترتیب نتایج حاصل از این محاسبات را برای سطح‌های ۲، ۴ و ۶ مترمربع نمایش می‌دهد.



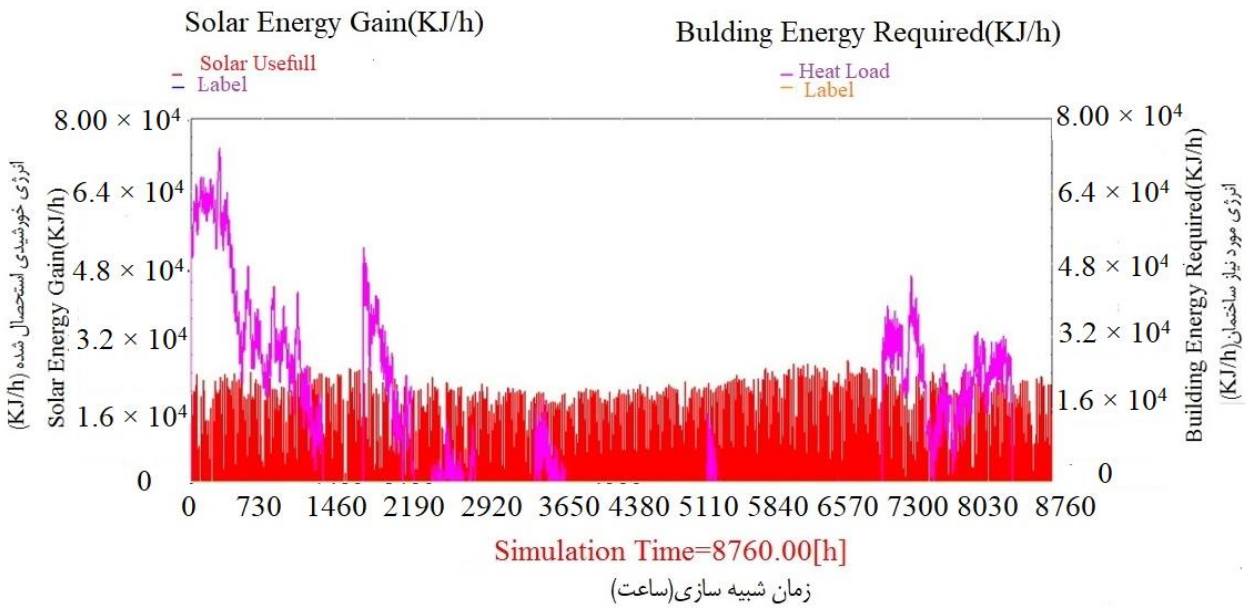
شکل ٤- انرژی خورشیدی استحصال‌شده نسبت به انرژی مورد نیاز برای جمع‌کننده به سطح ۲ مترمربع

Fig.4. Extracted solar energy relative to the energy required for the collector to a area of 2 m^2



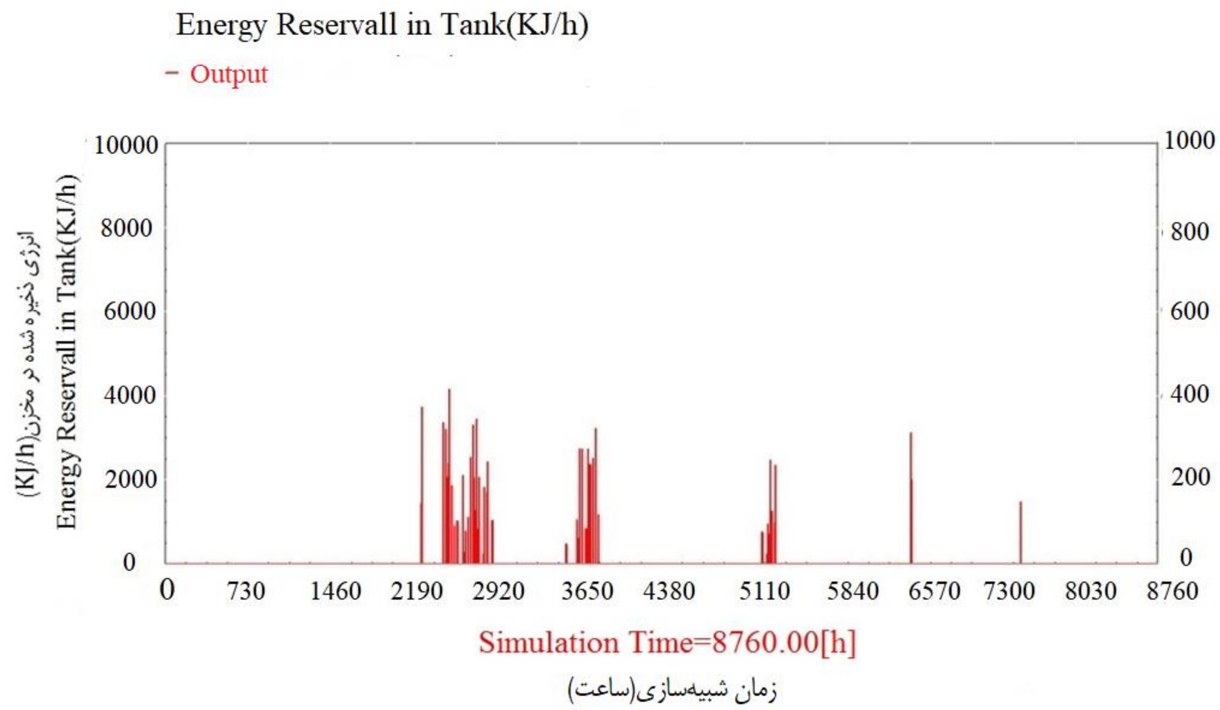
شکل ۵- انرژی خورشیدی استحصال‌شده نسبت به انرژی مورد نیاز برای جمع‌کننده به سطح ۶ مترمربع

Fig.5. Extracted solar energy relative to the energy required for the collector to a area of 6 m^2



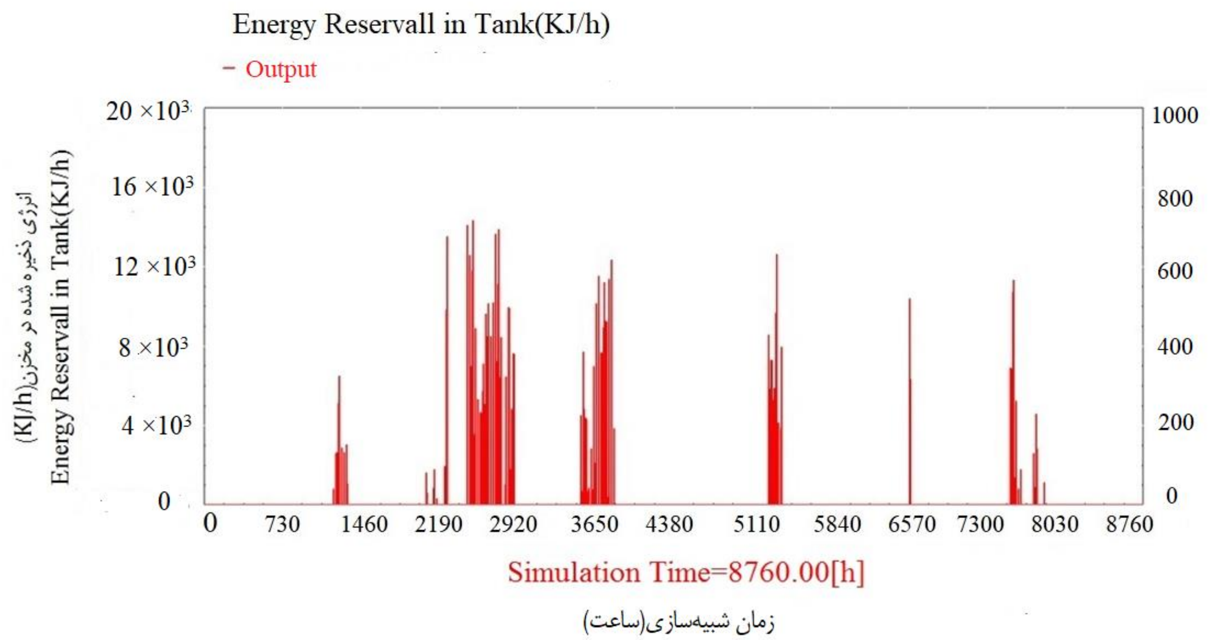
شکل ٦– انرژی خورشیدی استحصال‌شده نسبت به انرژی مورد نیاز برای جمع‌کننده به سطح ۸ مترمربع

Fig.6. Extracted solar energy relative to the energy required for the collector to a area of 8 m^2



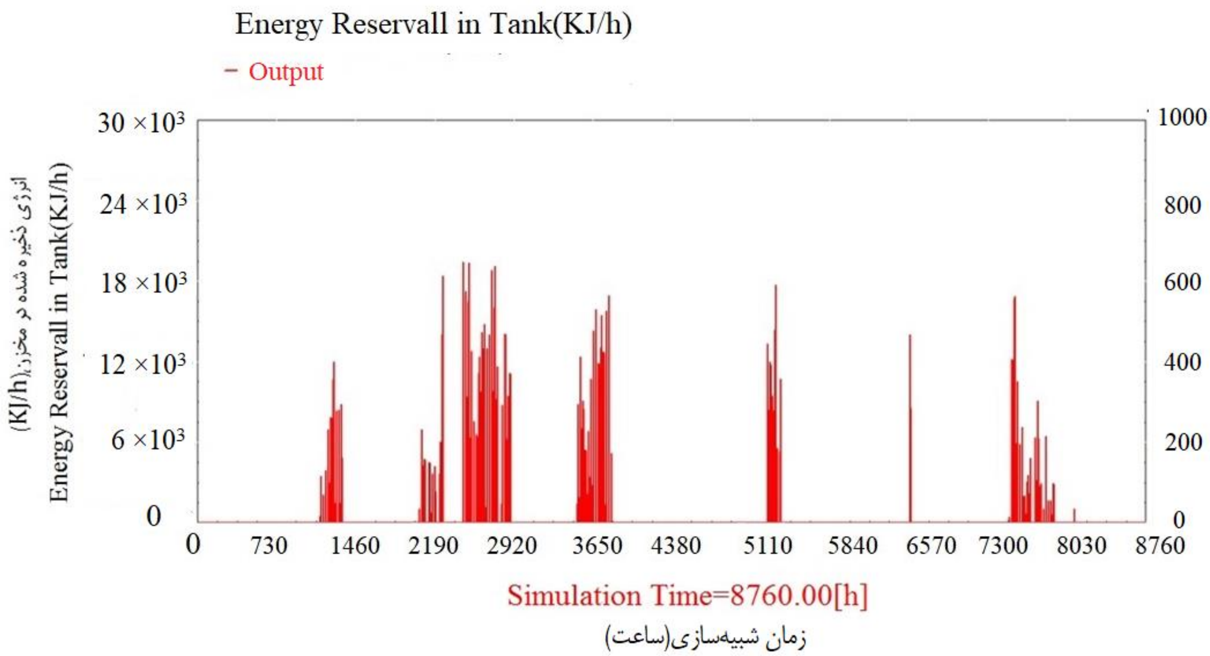
شکل ۷– مقدار ذخیره‌سازی انرژی خورشیدی در مخزن برای جمع‌کننده به سطح ۲ مترمربع

Fig.7. The amount of solar energy storage in the tank for the collector to the area of 2 m^2



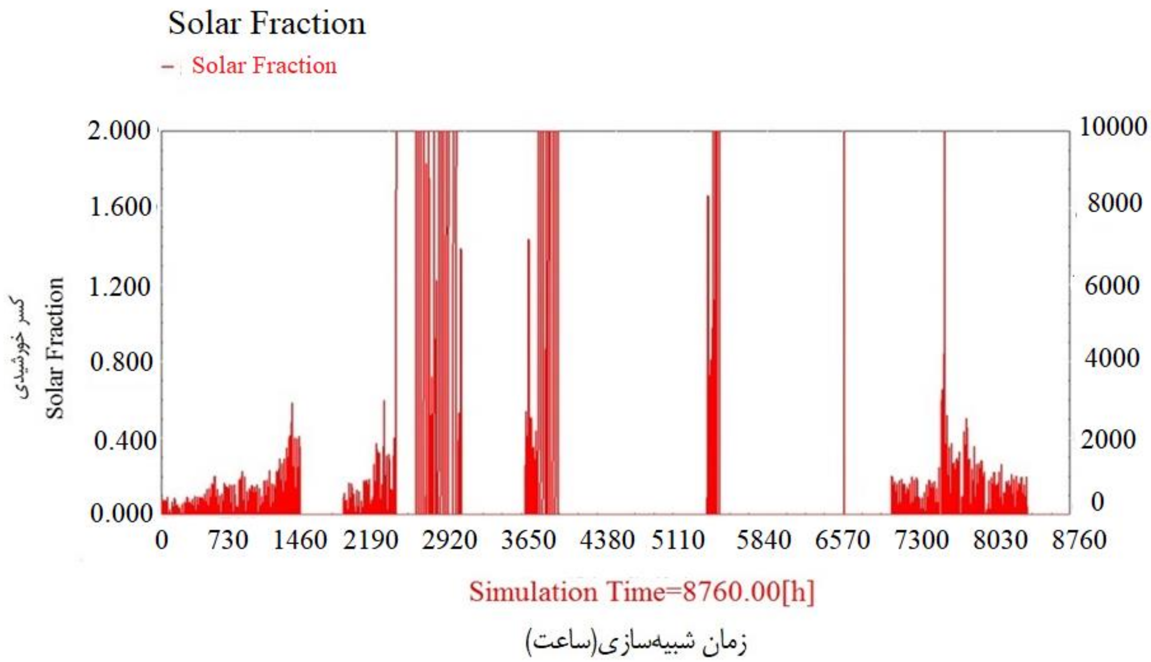
شکل ۸– مقدار ذخیره‌سازی انرژی خورشیدی در مخزن برای جمع‌کننده به سطح ۶ مترمربع

Fig.8. The amount of solar energy storage in the tank for the collector to the area of 6 m^2



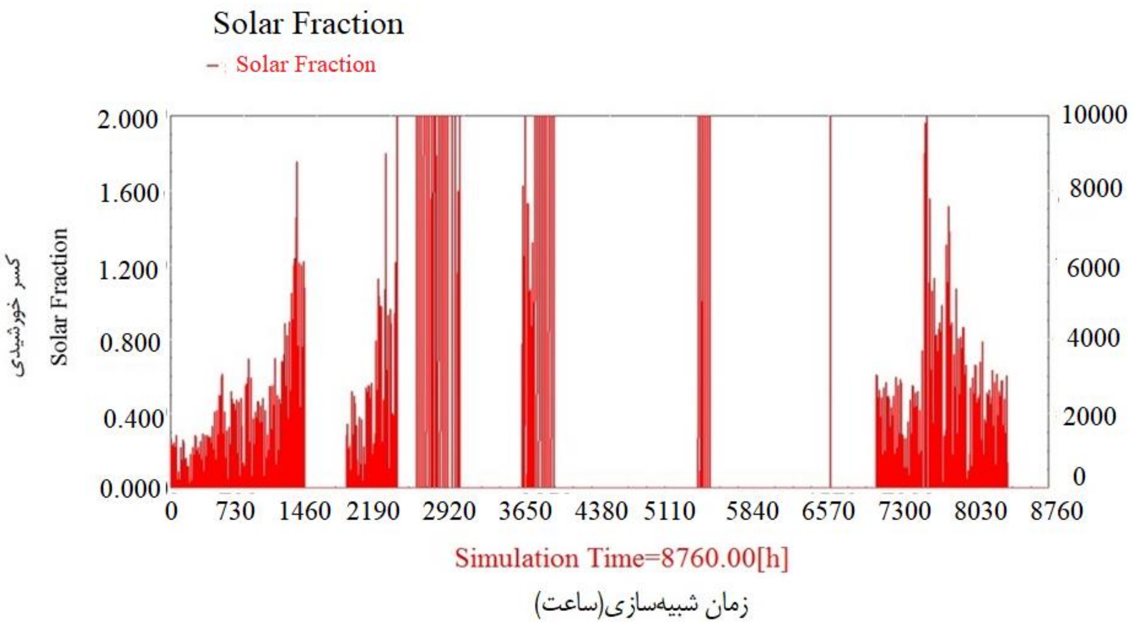
شکل ۹– مقدار ذخیره‌سازی انرژی خورشیدی در مخزن برای جمع‌کننده به سطح ۸ مترمربع

Fig.9. The amount of solar energy storage in the tank for the collector to the area of 8 m^2



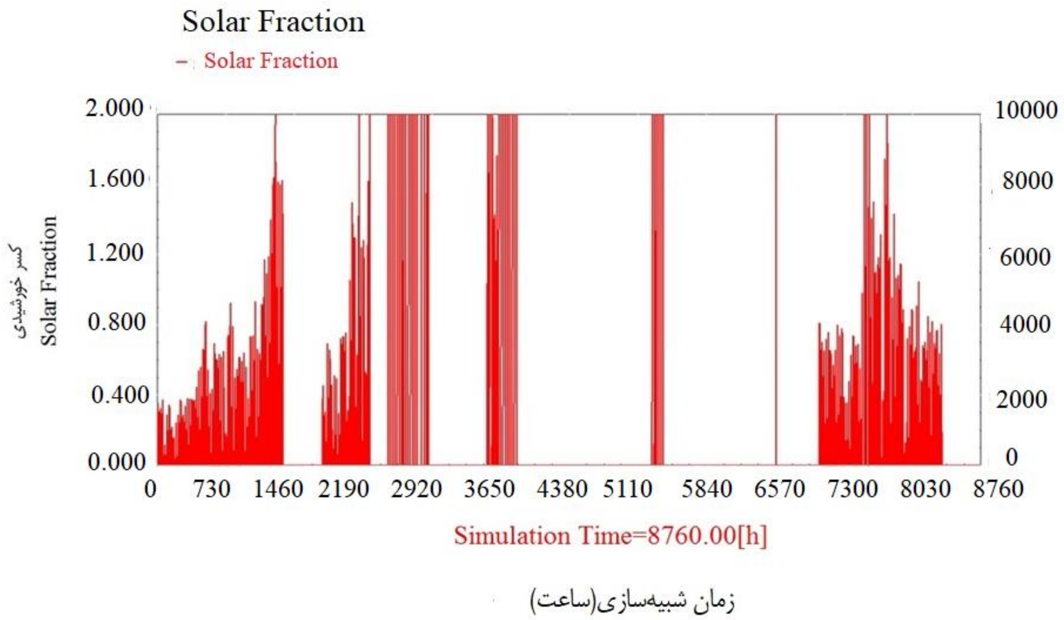
شکل ۱۰- کسر خورشیدی روزانه برای جمع‌کننده به سطح ۲ مترمربع

Fig.10. Daily solar fraction for the collector to the area of 2 m^2



شکل ۱۱- کسر خورشیدی روزانه برای جمع‌کننده به سطح ۶ مترمربع

Fig.11. Daily solar fraction for the collector to the area of 6 m^2



شکل ۱۲- کسر خورشیدی روزانه برای جمع‌کننده به سطح ۸ مترمربع

Fig.12. Daily solar fraction for the collector to the area of 8 m^2

شکل ۱۳ مقدار کسر خورشیدی را برای سطوح مختلف جمع‌کننده خورشیدی نمایش می‌دهد. نمودار یک رفتار خطی تا سطح ۲۶ مترمربع را از خود نشان می‌دهد. بر این اساس اگر ۲ مترمربع (یک جمع‌کننده خورشیدی) نصب کنیم تنها ۵/۲ درصد از انرژی کل را می‌توانیم به‌وسیله انرژی خورشیدی تأمین کنیم و درصورتی‌که ۳۰ مترمربع جمع‌کننده خورشیدی نصب کنیم قادر خواهیم بود ۱۰۰ درصد انرژی مورد نیاز را به‌وسیله انرژی خورشیدی دریافت کنیم. از دیدگاه فنی هرچه مقدار کسر خورشیدی بیشتر باشد، سیستم توانایی استحصال بیشتری از انرژی خورشیدی را داراست. بدیهی است نقطه بهینه فنی نقطه‌ای است که تولید حداکثری از خورشید داشته باشیم یعنی نقطه‌ای که سطح ۲۶ مترمربع از خورشید را شامل می‌شود. بنابراین با افزایش سطح بیشتر از ۲۶ مترمربع، عملا تنها افزایش هزینه صورت می‌گیرد. شکل ۱۴ میزان استحصال‌شده از انرژی خورشیدی در مقابل مقدار انرژی مورد نیاز در سیستم کمکی را به‌ازای سطوح مختلف جمع‌کننده خورشیدی نمایش می‌دهد. همان‌گونه که در تصویر مشخص است محل تلاقی این دو منحنی که تقریباً در ۱۶ مترمربع جمع‌کننده خورشیدی قرار دارد، محلی است که نیمی از انرژی توسط خورشید تأمین می‌شود و نیمی دیگر توسط سیستم کمکی. ممکن است تصور شود که این نقطه به‌عنوان نقطه بهینه باشد، در صورتی که این‌طور نیست (نقطه بهینه واقعی، این نقطه نیست). هر دو منحنی رفتاری غیرخطی از خود نشان می‌دهند. با این وجود مشاهده می‌شود که تا ۱۰ مترمربع سطح، روند انرژی استحصال‌شده از خورشید یکنواخت است و از ۱۰ مترمربع تا ۱۶ مترمربع، یک افزایش ناگهانی دیده می‌شود. همچنین از ۱۶ مترمربع تا ۲۰ مترمربع روندی خطی وجود دارد و با افزایش سطح، جهش ناگهانی در میزان انرژی استحصال‌شده دیده می‌شود.

به‌منظور انتخاب سطح بهینه، نقطه بهینه اقتصادی که سرمایه‌گذاری در آن از لحاظ اقتصاد مهندسی دارای بیشترین مقدار IRR (نرخ بازده داخلی معادل نرخ سودی که سرمایه‌گذار می‌تواند با سرمایه‌گذاری در یک طرح به‌دست آورد) یا NPV باشد، انتخاب شد. شکل ۱۵ مقدار عایدی سالانه بر حسب میلیون ریال به ازای سطوح مختلف جمع‌کننده بر حسب مترمربع را نشان می‌دهد. روند خطی تا سطح ۲۶ مترمربع دیده می‌شود و پس از آن شیب نمودار ثابت می‌شود. شکل ۱۶ سرمایه‌گذاری لازم به‌ازای هر کدام از سطوح انتخابی را نمایش می‌دهد. این منحنی بر حسب سطح جمع‌کننده به‌ازای مترمربع و هزینه سرمایه‌گذاری بر حسب میلیون ریال ترسیم شده است. با توجه به هزینه سرمایه‌گذاری ترسیم شده و عایدی سالانه مقدار IRR جمع‌کننده‌های انتخابی قابل حصول است. روند خطی بیانگر آن است که افزایش سطح جمع‌کننده متناسب با افزایش هزینه است. شکل ۱۷ مقدار IRR بر حسب درصد برای سطوح مختلف جمع‌کننده را نمایش می‌دهد. همان‌گونه که در شکل ۱۷ مشخص است مقدار ماکزیمم IRR در سطح مقطع ۲۶ مترمربع افتاده است.

جدول ٦- نتایج حاصل از به‌کارگیری سطح‌های ۲، ۶ و ۸ مترمربع

Table 6- Results from the use of surface of 2, 6, 8 m^2

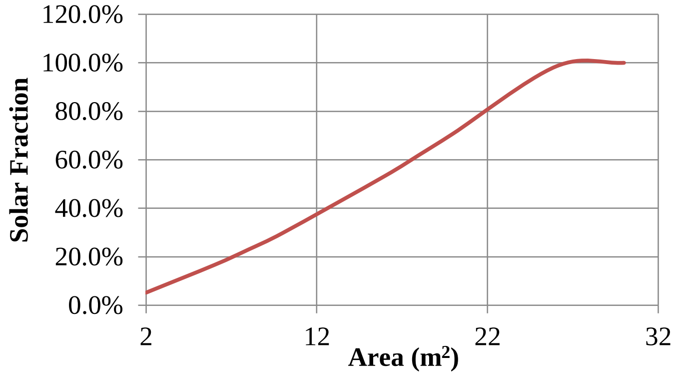
مشخصه **Property**	مقدار **Value**	مقدار **Value**	مقدار **Value**	واحد **Unit**
مساحت جمع‌کننده Collector area	2	6	8	m^2
بار گرمایشی Heating load	94671628	94671628	94671628	kJ.yr^{-1}
بهره مفید خورشیدی Solar useful gain	4786686	14360407	19147267	kJ.yr^{-1}
گرمایش کمکی مورد نیاز Auxiliary heating required	89884942	80311221	75524361	kJ.yr^{-1}
ذخیره انرژی در تانک Energy reservoir in tank	154847	1384689	2622029	kJ.yr^{-1}
دمای ورودی برای گرمایش از کف Inlet temperature for under floor heating	106.4	106.4	106.4	F
دمای خروجی برای گرمایش از کف Outlet temperature for under floor heating	91.4	91.4	91.4	F
اختلاف دما Temperature difference	15	15	15	F
حجم تانک Tank volume	0.03	0.1	0.13	m^3
بهره‌وری کل خورشیدی با مخزن Total solar gain with reservoir	4941533.1	15745095.5	21769295.9	kJ.yr^{-1}
کسر خورشیدی Solar fraction	5.2	16.6	23	%
کل مصرفNG Total NG consumption	11834	11834	11834	m^3.yr^{-1}
کل ذخیرهNG توسط خورشید Total NG saving by solar	618	1968	2721	m^3.yr^{-1}
کل مصرفNG هیتر کمکی Total auxiliary heater ng consumption	11216	9866	9113	m^3.yr^{-1}
قیمتNG Ng price	4920	4920	4920	Rial
هزینه سالانه بدون بخاری خورشیدی Annual cost without solar heater	58223050	58223050	58223050	Rial.yr^{-1}
هزینه سالانه هیتر کمکی Annual auxiliary heater cost	55184010	48539820	44834930	Rial.yr^{-1}
صرفه‌جویی سالانه هیتر خورشیدی Annual solar heater saving	3039040	9683230	13388120	Rial.yr^{-1}

بنابراین بهینه فنی و بهینه اقتصادی دقیقاً در یک نقطه افتاده شده است. با افزایش سطح، مقدار IRR شروع به افت می‌کند. حداقل مقدار IRR به‌ازای حداقل سطح رخ می‌دهد. از ۶ مترمربع تا ۲۵ مترمربع، روند خطی برای IRR مشهود است. در مطالعه‌ای به بررسی عملکرد سیستم PVT، جمع‌کننده خورشیدی، پمپ‌های حرارتی و غیره به‌منظور تامین انرژی روشنایی و گرمایش برای یک مرغداری پرداخته شد (Cui, Theo, Gurler, Su, & Saffa, 2020). مطالعه نشان داد که بیشتر از ۸۵ درصد صرفه‌جویی در مصرف انرژی این مرغداری به‌وسیله این سیستم تامین شده که می‌تواند بازگشت سرمایه‌ای معادل با ۳ الی ۵ سال داشته باشد. در این تحقیق درخصوص ذخیره‌سازی انرژی حرارتی هیچ‌گونه بررسی صورت نگرفته شده است. در مطالعه‌ای که درخصوص سیستم خورشیدی یک مرغداری در شهر بکا از کشور لبنان، موفق به تامین دماهای مختلف برای پرورش جوجه‌ها در زمستان ۲۰۱۹ شدند درحالی‌که دما از ۳۲

درجه سلسیوس در هفته ۱ تا ۱۸ درجه سلسیوس در هفته ۶ متغیر بود (Dbouk & Mourad, 2019). این سیستم گرمایش خورشیدی با سطح مقطع ۶ مترمربع باعث صرفه‌جویی ۶۰ درصدی در هزینه‌های گرمایش نسبت به روش‌های گرمایش سنتی شد (Dbouk & Mourad, 2019). در تحقیق پیش رو، سطح مقطع‌های ۲، ۶ و ۸ مترمربع در شهر اردستان با شرایط ذکرشده انجام شد که نتیجه آن صرفه‌جویی در هزینه‌ها بود درحالی‌که دمای اردستان عموما سردتر می‌باشد. علاوه بر تفاوت شرایط آب و هوایی منطقه عدم استفاده از اگزاست فن به‌منظور تهویه هوا (تهویه هوا فقط به‌وسیله باز کردن پنجره صورت می‌گیرد. این مهم، باعث کاهش تلفات حرارتی و بار ناشی از نفوذ هوا شده ولی به شدت بازده تولید را کاهش می‌دهد) است. جدول ۷ مقایسه دمای شهر اردستان و شهر بکا را در ماه‌های مختلف یک سال نمایش می‌دهد.

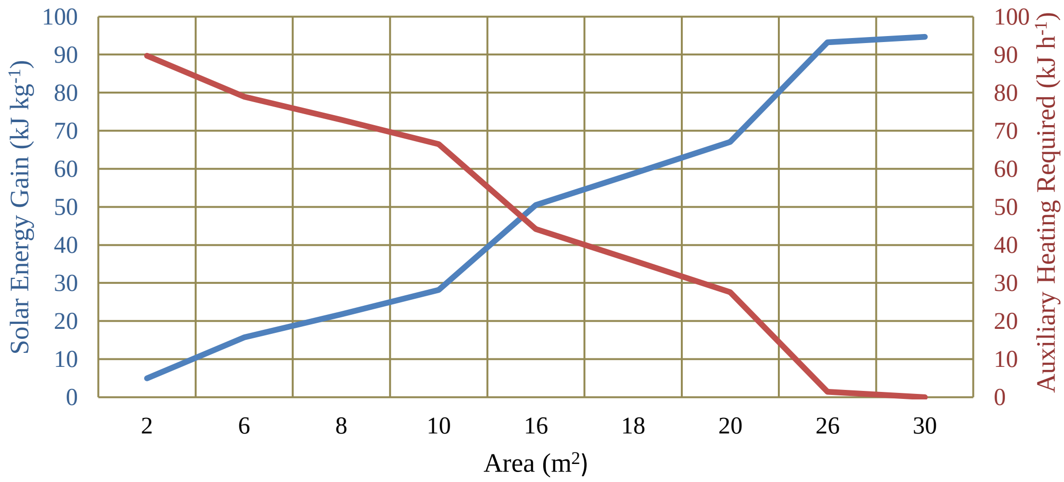
نتیجه‌گیری

در این تحقیق به شبیه‌سازی سامانه حرارتی خورشیدی یک مرغداری گوشتی در شهرستان اردستان (از توابع استان اصفهان) به‌منظور تامین برق سالن پرداخته شد. سامانه حرارتی خورشیدی با چند سطح مقطع متفاوت شبیه‌سازی گردید و میزان انرژی تولیدشده آن‌ها با یکدیگر، هزینه سرمایه‌گذاری و درآمد سالانه آن‌ها با یکدیگر مقایسه و در انتها حالت بهینه مشخص گردید. نتایجی که می‌توان از این تحقیق دریافت کرد به شرح زیر است،



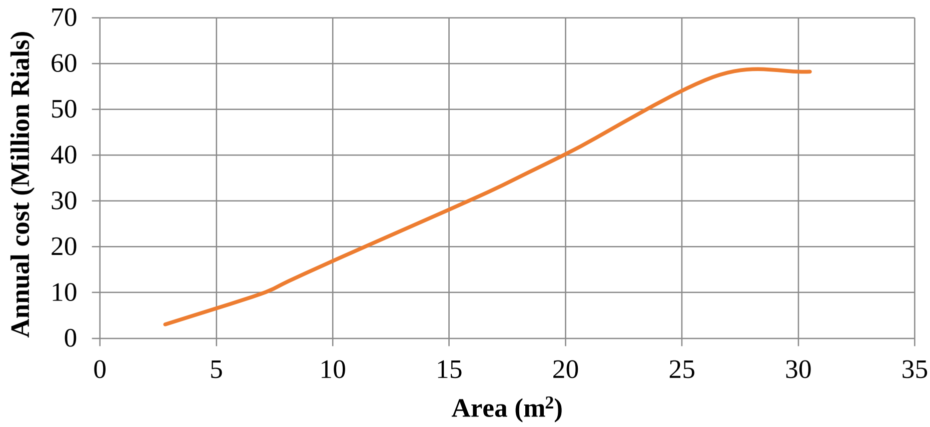
شکل ۱۳– منحنی کسر خورشیدی برای جمع‌کننده‌های مختلف

Fig.13. Solar fraction curve for different collectors



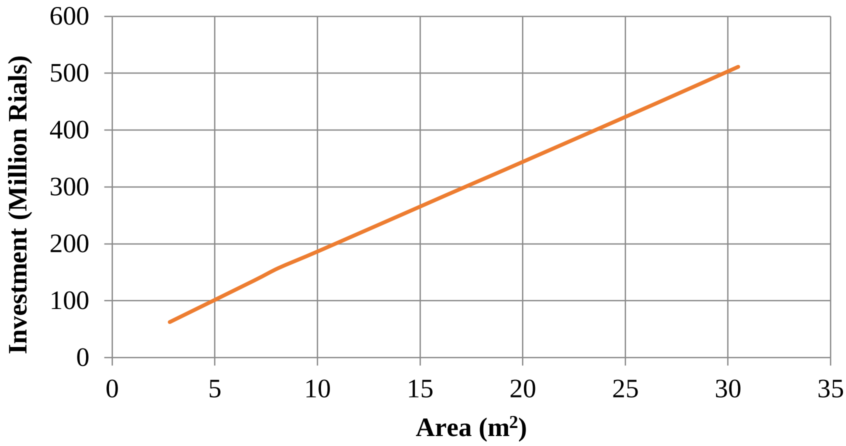
شکل ۱۴– منحنی میزان انرژی تولیدی جمع‌کننده و میزان انرژی مورد کمکی مورد نیاز برای جمع‌کننده‌های مختلف

Fig.14. Amount of energy produced and the amount of auxiliary energy required for different collectors



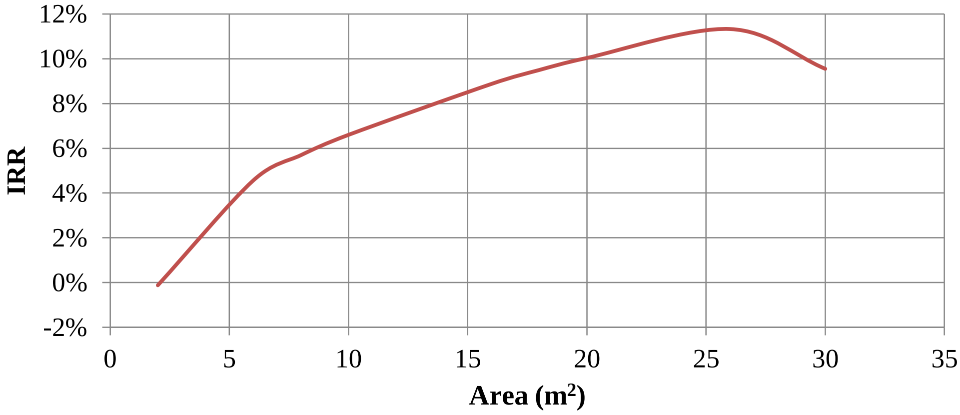
شکل ۱۵– مقدار عایدی سالانه بر حسب میلیون ریال به‌ازای سطوح مختلف جمع‌کننده بر حسب مترمربع

Fig.15. Amount of annual cost (in terms of Million Rials) for different area of collectors



شکل ۱٦– منحنی سرمایه‌گذاری بر حسب میلیون ریال و سطح مقطع جمع‌کننده‌ها

Fig.16. Investment curve (in terms of Million Rials) versus various cross section of collectors



شکل ۱۷– مقدار IRR بر حسب درصد به ازای سطوح مختلف جمع‌کننده بر حسب مترمربع

Fig.17. IRR value for different area of collectors

جدول ۷- مقایسه دمای هوا شهرستان اردستان و شهر بکا در ماه‌های مختلف یک سال

Table 7- Comparison of air temperature in Ardestan and Bekaa in different months of a year

ماه Month	بکا Bekka (℃)	اردستان Ardestan (℃)	اختلاف دما Temperature difference
ژانویه January	13.3	2.1	11.2
فوریه February	13.7	4	9.7
مارس March	15.2	8.4	6.8
آوریل April	18	14.8	3.2
می May	20.7	20.5	0.2
ژوئن June	23.5	25.5	-2
جولای July	25.7	27.6	-1.9
آگوست August	26.6	26.4	0.2
سپتامبر September	25.5	22.4	3.1
اکتبر October	22.7	16.3	6.4
نوامبر November	18.7	9	9.7
دسامبر December	15.1	3	12.1

۱. با نصب ۲ مترمربع جمع‌کننده خورشیدی، می‌توان ۵/۲ درصد انرژی کل را به‌وسیله انرژی خورشیدی تامین کرد.

۲. برای تامین ۱۰۰ درصدی انرژی به ۳۰ مترمربع جمع‌کننده خورشیدی احتیاج است.

۳. با افزایش کسر خورشیدی، توانایی سیستم در استحصال از انرژی خورشیدی بیشتر می‌شود.

۴. حداکثر کسر خورشیدی در جمع‌کننده‌ای با مساحت ۳۰ مترمربع حاصل می‌شود. با این حال از نظر اقتصادی، سطح جمع‌کننده برابر با ۲۶ مترمربع توصیه می‌شود.

۵. برای برقراری بالانس (یعنی ۵۰ درصد انرژی از سیستم کمکی و مابقی از سیستم خورشیدی تامین شود) بین استفاده از انرژی خورشیدی و استفاده از سیستم کمکی، به سطح جمع‌کننده‌ای برابر با ۱۶ مترمربع احتیاج است.

فهرست علائم

$F_{R.j}$	ضریب انتقال گرمای جمع‌کننده (فاکتور راندمان) Collector heat transfer coefficient (Efficiency factor)
C_{pc}	ظرفیت حرارتی مایع سیرکولاسیون Heat capacity of circulating fluid ($kJ\ kg^{-1}\ ℃^{-1}$)
$U_{L.j}$	ضریب تلفات انرژی کل جمع‌کننده Total collector energy loss coefficient
A	مساحت سطح صاف جمع‌کننده The flat surface area of the collector (m^2)
N_S	تعداد لایه پوشش شفاف (شیشه) The number of layers of transparent coating (glass)

دبی حجمی مایع سیرکولاسیون Volume flow rate of circulating liquid (m^3 s^{-1})	$\dot{m}_c$
دمای سیال ورودی به جمع‌کننده The temperature of the inlet fluid to the collector (℃)	$T_{i.j}$
شار تشعشعی خورشیدی وارد شده به جمع‌کننده Solar radiation flux entered into the collector (W m^{-2})	I_T
دمای محیط Environment temperature (℃)	T_a
ضریب بازده جمع‌کننده Collector efficiency	$F'^{U_{L.j}}$
مقاومت هدایتی ماده اتصال‌دهنده لوله‌ها به صفحه جاذب Conductive resistance of the material connecting the pipes to the absorbent plate ($W\ m^{-2}$ K^{-1})	$\frac{1}{C_b}$
فاصله مرکز تا مرکز لوله‌ها Center-to-center distance of pipes (m)	W
قطر لوله‌ها The diameter of the pipes (m)	D
ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی سیال داخل لوله‌ها Heat transfer coefficient of fluid displacement inside pipes ($W\ m^{-2}$℃$^{-1}$)	h_{fi}
کل انرژی خورشیدی دریافت‌شده Total solar energy received (kWh)	E_s
کل انرژی مورد نیاز Total energy required (kWh)	E_T
جریان نقدی خالص طی دوره Net cash flow during the period	C_t
مجموع هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه Total initial investment costs	C_0
نرخ تنزیل Discount rate	R
تعداد دوره‌های زمانی Number of time periods	t

پیوست الف

جدول الف– مشخصات آب و هوای محل در ماه‌های مختلف

Table A. Climate profile of the place in different months

ماه **Month**	**دمای میانگین** **Temperature (℃)**	**رطوبت نسبی** **Relative humidity (%)**	**سرعت میانگین باد** **Wind velocity ($m.s^{-1}$)**	**زاویه میانگین افق خورشیدی** **The angle of the solar horizon (◦)**	**زاویه میانگین ارتفاع خورشیدی** **Solar elevation angle (◦)**	**زاویه سمت خورشیدی** **Solar Zenith angle (◦)**
ژانویه January	3.14	62.19	2	44.16	32.61	77.1
فوریه February	8.22	57.87	2.74	44.72	39.53	69.85
مارس March	13.92	45.94	2.91	44.92	45.83	63.72
آوریل April	18.18	47.80	3.22	44.94	53.65	58.10
می May	24.60	47.26	3.95	44.40	57.41	54.91
ژوئن June	29.90	41.59	2.95	43.55	57.93	54.48

جولای July	32.73	33.82	3.46	44.61	57.66	54.75
آگوست August	30.95	29.94	2.66	44.80	54.90	57.79
سپتامبر September	26.52	32.47	2.57	44.55	42.56	62.50
اکتبر October	20.64	47.39	2.37	44.80	42.26	68.61
نوامبر November	13.06	55.88	2.09	44.20	34.73	74.13
دسامبر December	6.12	64.31	1.84	44.05	31.13	77.86

References

1. Byrne, J., Glover, L., Hegedus, S., & VanWicklen, G. (2005). *The potential of solar electric applications for Delaware's poultry farms*. Center for Energy and Environmental Policy, University of Delaware.
2. Costantino, A., Fabrizio, E., Biglia, A., Cornale, P., & Battaglini, L. (2016). Energy use for climate control of animal houses: The state of the art in Europe. *Energy Procedia*, *101*, 184-191. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.11.024
3. Cui, Y., Theo, E., Gurler, T., Su, Y., & Saffa, R. (2020). A comprehensive review on renewable and sustainable heating systems for poultry farming. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, *15*, 121-142. https://doi.org/10.1093/ijlct/ctz048
4. Cui, Y., Theo, E., Gurler, T., Su, Y., & Saffa, R. (2021). Feasibility of hybrid renewable heating system application in poultry house: a case study of East Midlands, UK, *International Journal of Low-Carbon Technologies*, *16*, 73-88. https://doi.org/10.1093/ijlct/ctaa037
5. Dbouk, H. M., & Mourad, R. (2019). *Solar Heated Poultry House*. In 2019 IEEE AFRICON: 1-5. IEEE. https://doi.org/10.1109/africon46755.2019.9133832
6. Donald, J. O. (2009). Environmental Management in the Broiler House. Aviagen.
7. Francis, C. A. (2002). The Next Green Revolution: Essential Steps to a Healthy, Sustainable Agriculture. *NACTA Journal*, *46*, 62-68. https://doi.org/10.5860/choice.39-4568
8. Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (1991). *Solar Engineering of Thermal Processes*, 2nd Edition, Wiley Interscience, New York.
9. Duffie, J. A., Beckman, W. A., & Blair, N. (2020). *Solar engineering of thermal processes, photovoltaics and wind*, 5th Edition, Wiley Interscience, New York. https://doi.org/10.1002/9781119540328
10. Flynn, C., & Siren, K. (2013). Modelling the drake landing solar community with TRNSYS 17 and estimating its potential under Helsinki condition, Alto University, School of Engineering, 1-15.
11. Gad, S., El-Shazly, M. A., Wasfy, K. I., & Awny, A. (2020). Utilization of solar energy and climate control systems for enhancing poultry houses productivity. *Renewable Energy*, *154*, 278-289. https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.02.088
12. Goodarzi, B., Kazemi, N., Kashanizadeh, R., Bogri, A., & Yaghoubi, M. (2016). *Electric floor heating in non-peak 8-hour cycle in poultry halls*. The Second National Conference on Mechanization and New Technologies in Agriculture, Tehran. (In Persian).
13. Herrando, M., Pantaleo, A. M., Wang, K., & Markides, C. N. (2019). Solar combined cooling, heating and power systems based on hybrid PVT, PV or solar-thermal collectors for building applications. *Renewable Energy*, *143*, 637-647. https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.05.004
14. Hottel, H. C., & Woertz, B. B. (1942). The Performance of Flat Plate Solar-Heat Collectors. *Transactions of the ASME*, *64*, 64-91. https://doi.org/10.1115/1.4018980
15. Jurčević, M., Nižetić, S., Marinić-Kragić, I., & Čoko, D. (2021). Investigation of heat convection for photovoltaic panel towards efficient design of novel hybrid cooling approach with incorporated organic phase change material. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, *47*, 101497. https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101497
16. Kim, D. S. (2018). How to decide on purchasing new medical equipment? *OBG Management*, *30*(5), 34-39.
17. Klein, S. A., Duffie, J. A., Mitchell, J. C., Kummer, J. P., Beckmann, W. A., & Duffie, N. A. (2007). TRNSYS16 a Transient Simulation Program, Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin-Madison, Madison, 357-359.
18. Koochakzadeh, A., & Tajri, B. (2014). *Energy Consumption Control in Poultry Industry*. 4th International Conference on New Approaches to Energy Conservation, Tehran. (in Persian).
19. Li, Y., & Jing, D. (2017). Investigation of the performance of photovoltaic/thermal system by a coupled TRNSYS

and CFD simulation, *Solar Energy*, *143*, 100-112. https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.12.051
20. Liu, Z., Jin, Z., Li, G., Zhao, X., & Badiei, A. (2022). Study on the performance of a novel photovoltaic/thermal system combining photocatalytic and organic photovoltaic cells. *Energy Conversion and Management*, *251*, 114967. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.114967
21. Mohammadi, Z., Mirdamadi, S. M., Farajollah Hosseini, S. J., & Lashgarara, F. (2021). Qualitative analysis of effective factors on the feasibility of utilizing solar technology in the poultry industry. *International Journal of Environmental Science and Technology*, *18*, 703-710. https://doi.org/10.1007/s13762-020-02870-2
22. Shahini, H., Saadat fard, M., & Taki, M. (2018). *Construction and evaluation of underfloor heating system in poultry house*. 3th National Congress on Development and Promotion of Agricultural Engineering and Soil Sciences of Iran, Tehran. (In Persian).
23. Shen, C., Liu, F., Qiu, S., Liu, X., Yao, F., & Zhang, Y. (2021). Numerical study on the thermal performance of photovoltaic thermal (PV/T) collector with different parallel cooling channels. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, *45*, 101101. https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101101
24. Shyu, C. W. (2013). End-users' experiences with electricity supply from stand-alone mini-grid solar PV power stations in rural areas of western China. *Energy for Sustainable Development*, *17*(4), 391-400. https://doi.org/10.1016/j.esd.2013.02.006
25. Wang, Y., Li, B., Liang, C., & Zheng, W. (2020). Dynamic simulation of thermal load and energy efficiency in poultry buildings in the cold zone of China. *Computers and electronics in agriculture, 168, 105127*. https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105127
26. Xue, J. (2017). Photovoltaic agriculture-New opportunity for photovoltaic applications in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *73*, 1-9. https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.098
27. Zelzouli, K., Guizani, A., Sebai, R., & Kerkeni, C. (2012). Solar Thermal Systems Performances versus Flat Plate Solar Collectors Connected in Series. *Engineering*, *4*, 881-893. https://doi.org/10.4236/eng.2012.412112